

**PCT**      **WORLD ORGANIZATION FOR INTELLECTUAL PROPERTY**  
International Office  
**INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED IN ACCORDANCE WITH THE**  
**PATENT COOPERATION TREATY (PCT)**

- 51 International Patent Classification      (11) International Publication number: WO 99/32392  
A 61B 1/31, 5/03      A1      (43) International publication date: 8 July 1999
- 21 International file no. PCT/AT98/00320      (81) Destination countries: JP,US, European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE,IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- 30 Priority dates:  
A 2190/97 29 December 1997 (29.1.2.97)AT      **Published**  
*with international research report*
- I.72 Applicant and inventor: SKRABAL, Falko  
[AT/AT] Lindenhofweg 16, A-8043 Graz  
AT. FORTIN, Juergen [AT/AT]:  
Jahngasse 5, A-8010 Graz(AT).
- 74 Attorney: BABELUK, Michael; Babeluk-Krause,  
Mariahilfer Guertel 39/17, A-1150 Vienna (AT)

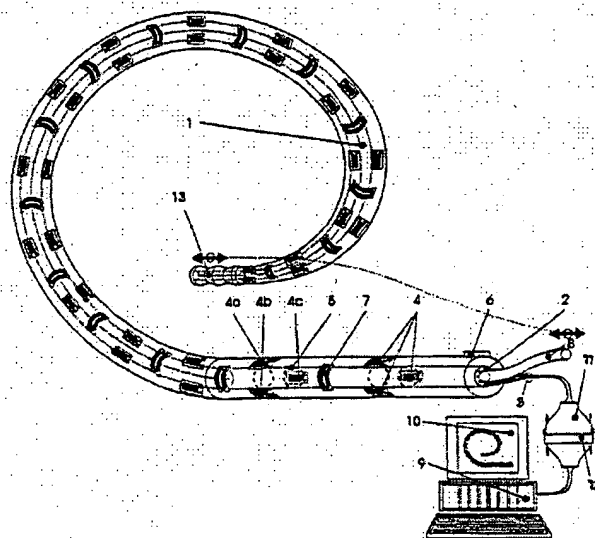
54 Title: DEFORMABLE PROBE WITH  
AUTOMATIC DETECTION OF THE  
POSITION OF THE PROBE

57 Abstract

The invention relates to a deformable probe (1) which can be placed in cavities or mediums which cannot be observed. The probe comprises a plurality of deformation and distortion sensors

4 7) which are distributed along the length of the probe (1).

5 The supply lines (3) are preferably guided outward in a multiplex circuit and are connected to a computer (9). A differential iterative computing method is used for calculating the deformation and position of the probe, and the position of the probe is displayed on a screen (10).



BEST AVAILABLE COPY

**Deformable Probe with Automatic Detection of the Position of the Probe**

In technical situations and in medicine respectively there exists frequently a need to recognize or identify, in unobservable cavities whose position or distortion are unknown or in unobservable mediums, from the outside the shape and position of the cavity or of deformable probes located therein.

Especially in endoscopy (colonoscopy) there exists frequently the need to check the position of the endoscope in the body, in order to identify loops or bends of the endoscope that impede further advance. Currently an expensive x-ray machine is used for this purpose which is not available to the majority of physicians performing this investigation. For this reason this investigation must often be aborted or the procedure is rendered much more difficult and painful for the patient.

At present, there is no system that eliminates the described disadvantages and advises the investigator in a simple manner of the location of the endoscope. In [patent] FR 2 732 225 A1 (MAZARS) a probe is described which inserts itself into the cavity. To do this the probe is equipped with bimetal lamella or piezo elements respectively and divided into individual segments which deform themselves in respect to each other and in the manner demonstrated by the front most segment to the following segments. This is dangerous and not feasible because it would presuppose that the cavity being investigated does not undergo any natural deformation during the entire investigation. Particularly in the case of the intestine this is not the case, because the intestine is provided with muscular cells and displays a natural movement due to peristalsis. This movement cannot be taken into account by the described device.

WO 95/04556 (ACTIVE CONTROL) describes a cardiac catheter whose deformation is observed on the x-ray screen, where difficult bends can be produced through piezo-electrical elements which are impossible to obtain with the traditional sheathed cables.

EP 0 077 526 A2 (OLYMPUS) describes a servo device for operating an endoscope, where the manual rotation of control levers is detected by expansion of a piezo-electrical rubber thereby controlling the servo device. However, detection of the probe location is not possible with this device.

In US 4 899 731 A (TAKAYAMA) the bending of the control head of an endoscope is effected by an alloy which attains a defined angle through heating. While this saves the sheathed cables for the endoscope, it is not possible to detect the deformation of the probe.

In US 4 930 494 A (TAKEHANA) the angle of the insertion segment of an endoscope is modified in similar fashion, with heating being achieved through heating coils. Here again it is not possible to detect the probe's location.

The challenge of the present invention is to avoid the disadvantages described above and to create a probe which allows external observation of the position of a cavity or of a probe (of an endoscope for example) inserted into this cavity, with any loop or bend formations.

According to invention, this task is solved by attaching several deformation sensors over the length of the probe, with these sensors transmitting their signals either via electrical lines or via radio to a computer which calculates the exact deformation and location of the probe from the signals of the individual sensors. These deformation sensors are capable of transmitting the bends of the probe to the investigating person either over electrical lines or without wires, preferably to a display screen indicating the location of the probe with all its bends and loops.

Preferably, either wire strain gauges or piezo-electrical elements are used as sensors which are attached to the probe and distributed over its length. These wire strain gauges or piezo-electrical elements are connected by wires to a computer outside of the body. This computer is capable, preferably in graphic form, to show the exact position and bending of the probe on the screen. The number of sensors required is the result of the minimum bend radius, i.e. of the rigidity of the device. The smaller the bend radius and the more flexible the device, the more sensors are required over its length.

For an ordinary colonoscope with a bend diameter of 5 cm in the front part which is 20 cm long, and of 12 cm in the remaining part, this translates, for a total length of the device of 1.3 m, into a quantity of 25 to 150 sensors, which allow precise calculation of all deformations of the device.

The preferred method for complete probes or traditional investigating devices where it is no longer possible to install sensors, is to insert into any cavity of the probe a flexible probe which can remain inside the device during the entire investigation. The outside diameter of this probe is predicated on the diameter of the cavity of the outer probe and is normally 3 mm for the endoscope.

The preferred manufacture of this probe is to prepare the piezo-electrical elements or wire strain gauges with the electrical connections and then, in a vulcanization, shrink or spray process, a thin plastic or rubber film is placed over the sensors. In this manner it is possible to achieve a smooth surface of the device. So as to have to guide as few electrical lines outward as possible, a multiplex circuit connecting the sensors among each other is suitable, as is also well known from the literature. In this way it is possible to supply up to  $x*(x-1)/2$  sensors with  $x$  electrical lines (e.g. 28 sensors with 8 lines).

The signals from the sensors (wire strain gauges or piezo-electrical elements) must indicate the bend of the probe in three-dimensional space, where any 2 sensors, offset by approximately 90 degrees on the circumference of the device, suffice to enable calculation of a three-dimensional deformation. Alternatively, one may also use sensors capable of detecting a deformation in more than one plane. In this case it would only be necessary to install one sensor over each length of the probe.

The input of all sensors or, respectively, the bend diameter of the device, then results – even with placing only a few sensors over the length of the probe – in a precise three-dimensional image of the location of the probe in the cavity or the not observable medium.

For the calculation it is useful to transmit the analog signals of the individual sensors in the known manner over the analog/digital converter to the computer.

For exact determination of the probe's position based on the obtained bend radius one may use for instance the following equation, where it is advantageous to presume the origin of the graphic and mathematical representation at the point of introduction.

Bend (omega) and bend direction (sigma) at the location of the deformation sensors:

$$\omega_i = \frac{d}{r \cdot Z} \cdot \left( \Delta Z_{\xi}^2 + \Delta Z_{\psi i}^2 \right)$$

$$\varphi_i = \arctan \left( \frac{\Delta Z_{\xi i}}{\Delta Z_{\psi i}} \right)$$

$\omega_i$  ... bend at location  $L_i$

$\varphi$  ... bend direction at location  $L_i$

$d$  ... active length of wire strain gauge

$r$  ... probe radius

$\Delta Z_{\xi i}$  ... resistance change in sensor  $i$  direction  $\xi$

$\Delta Z_{\psi i}$  ... resistance change in sensor  $i$  direction  $\psi$

$Z$  ... base resistance

Deformation (alpha) at location j of deformation sensors:

$$\alpha_i = \frac{d}{r} \cdot \left( \frac{\Delta Z_{dj}}{Z_{dj}} - \frac{\Delta Z_{pj}}{Z_{pj}} \right)$$

$\alpha_i$  ... deformation angle at location j

$Z_d$  ... distal resistance value

$Z_p$  ... proximal resistance value

Interpolated bend (omega) (l) or deformation (alpha)(l) along length of probe l:

$$\omega(l) = \sum_{i=0}^n \omega_i \cdot g_i(l) \quad \alpha(l) = \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_j \cdot g_j(l) \quad \begin{array}{l} g_i(l) \text{ ... interpolation function} \\ n \text{ ... number of deformation sensors} \end{array}$$

linear and  $\cos^2$  interpolation function

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} & L_{i-1} < l < L_i \\ 1 - \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases} \quad g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \cos^2\left(\frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}}\right) & L_{i-1} < l < L_i \\ \cos^2\left(\frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i}\right) & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

Linear Interpolation

$\cos^2$  - interpolation

In general, the interpolation equation  $g_i(l)$  must have the following quality:

$$g(l) = \sum_{i=0}^n g_i(l) = 1$$

differential bend with respect to origin:

$$\frac{dx}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \sin(\alpha(l) + \varphi(l)) \quad \frac{dy}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \cos(\alpha(l) + \varphi(l))$$

Iterative calculation of probe coordinates for each segment (delta)l:

$$x(0) = 0 \quad y(0) = 0 \quad z(0) = 0$$

$$x(l + \Delta l) = x(l) + \frac{dx}{dl} \cdot \Delta l$$

$$y(l + \Delta l) = y(l) + \frac{dy}{dl} \cdot \Delta l$$

$$z(l + \Delta l) = z(l) + \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{dx}{dl}\right)^2 - \left(\frac{dy}{dl}\right)^2}$$

It is obvious that the described device may also have other applications in medicine, and also in technical areas and that the patent protection should also be extended to these other applications.

The invention is explained in greater detail in the diagrams below. Figure 1 shows a probe according to invention, figure 2 shows a section of the probe in the area of deformation sensors, figure 3 shows a phantom for calibration of the probe and figure 4 a schematic (multiplex circuit) for measuring.

Figure 1 shows a probe which contains in its interior lumen 2 the electrical feeds 3 of the deformation sensors 4. Since the deformation of probe 1 may be very pronounced, while the deformation sensors 4 are only slightly extendible, it may be advantageous to install the deformation sensors 4 on a rigid medium which essentially displays a similar deformability as that of the sensors themselves. In figure 1 a short plastic hollow piece 5 for instance is used as a rigid medium which receives its deformation from the outer probe 1. This plastic hollow body 5 must consequently be kept short so as not to put at risk the deformability of the entire probe. To ensure that the location of probe 1 in relation to the location of the inserted device – in the concrete case the location of the colonoscope (not shown) – remains constant, it is proposed to provide an asymmetry (for instance a catch 6 or a groove respectively) on the probe.

In order to capture also any longitudinal deformation of probe 1, it might be advantageous to provide additional strain gauges diagonally to the axis with deviations in both opposite directions as deformation sensors 7 on the probe. Given the small outside diameter in relation to the length of the probe, some deformation cannot be entirely avoided although one will be careful to prevent deformation by using materials that are distortion-free or almost so. Thus it could be useful, to introduce in the middle of probe 1 a non-warping material, a metal wire 8 for instance, that prevents deformations but tolerates bends.

Feed lines 3 are connected to a computer 9 which calculates the deformation based on the signals received from the deformation sensors 4 distributed over the length of probe 1 and then displays this deformation on monitor 10, preferably in three-dimensional form.

To ensure that the probe 1 can be cleaned or washed as usual after use, it is planned to let the electrical lines 3 to computer 9 for instance end in a connector 11 which can be closed with a tight cover 12 or which is automatically closed once it is removed from computer 9.

To ensure the investigator knows which part of probe 1 is already inserted into the living body, preferably only the inserted part of the probe 1 should be displayed on monitor 10. For this to be the

case the investigator could for instance only enter the length of the inserted probe 1 into the computer. In addition, a distance recorder (not shown) could be attached at the opening of the hollow body to record the length of the inserted probe 1. This could be for instance a mechanical or electronic motion sensor. Additionally it could prove useful to represent the partial distances of probe 1 on the monitor in equal distances with a scale of centimeters.

Figure 1 also shows a version of the tip of the probe which can be fixed in the cavity of another probe distortion-free with respect to the computer side of probe 1. For this purpose the wire 8 shown in figure 1 at the tip of the probe is connected with a soft deformable material 13 (e.g. soft rubber) where the wire 8 when advancing stretches this deformable material and thus reduces the diameter, and shortens the deformable material when retracting, so that the tip of the probe can be fixed in the desired position in the cavity of the outer probe (not shown).

As shown in figures 1 and 2, two deformation sensors 4a and 4b, in the shown example strain gauges 4a and 4b, are offset by about 90 degrees and attached to the circumference of hollow body 5, in order to capture the deformation of probe 1 in three-dimensional space. Here it may be advantageous, to mount a third deformation sensor 4c, offset by about 135 degrees from the other two deformation sensors 4a and b, in order to compensate for fluctuations in the readings.

As shown in figure 3, it may be advantageous to calibrate probe 1 by use of a phantom 14 which is inserted into the probe and which gives the probe constant and known bends as default values. This calibration may occur once (gauging) or before a utilization. To calculate the bend from the signals received from the sensors, it may be advantageous to use modern mathematical procedures such as neuronal networks, fuzzy logic or differential geometry.

Figure 4 shows the wiring diagram for the measuring system. As an example an analog multiplex circuit is shown. Resistance of the strain gauges 4a, 4b, 4c is preferably determined by the 4-wire measuring method. When used in living bodies, the measuring current is kept low, in compliance with medico-technical regulations (e.g. EN 60-601-1), for instance in the range of 400  $\mu$ A. Likewise, the current in medical applications is preferably applied as alternate current (AC) with a frequency of around 40 kHz.

PATENT CLAIMS

1. Deformable probe (e.g. an endoscope) characterized by several deformation sensors (4) over the length of the probe (1) with these sensors transmitting their signals either over electrical wires (3) or by radio to a computer (9) which calculates from the signals of the individual sensors (4) the precise deformation and location of the probe.
2. Probe as per claim 1, characterized by the fact that sensors (4) are wire strain gauges (4a, 4b, 4c) with two strain gauges (4a, 4b) being attached with a 90 degree offset approximately, to the circumference of the probe (1).
3. Probe as per claim 2, characterized by a third strain gauge (4c) is attached at the larger sector between the two strain gauges (4a, 4b).
4. Probe as per claim 1, characterized by the fact that the sensors (4) are piezo-electrical elements which transmit the bend of the probe (1) over electrical lines (3) to the outer end of the probe (1) and to a computer (9) which is located there.
5. Probe as per one of the claims 1 through 4, characterized by electrical lines (3) in a multiplex circuit.
6. Probe as per claim 5, characterized by a multiplex circuit composed of a combination of space and time-division multiplex.
7. Probe as per claim 6, characterized by the fact that for x electrical lines (3) leading into the probe (1) it is possible to trigger  $x*(x-1)/2$  sensors (4).
8. Probe as per claim 5, characterized by a multiplex circuit which in the case of frequency-defined sensors (4) is executed as a frequency division multiplex.
9. Probe as per one of the claims 1 through 8, characterized by a flexible membrane, surrounding the sensors (4) and the electrical lines (3) and made of plastic or rubber for instance, with a smooth surface.

10. Probe as per claim 9, characterized by the flexible membrane which surrounds the sensors (4) and the electrical lines (3) being applied by shrinking, spraying or vulcanizing.
11. Probe as per one of the claims 1 through 10, characterized by the fact that the probe (1) is at least 130 cm long, has a diameter of 3 mm max., that at the tip of the probe (1) the sensors (4) are attached every 2 cm over a length of approximately 20 cm and that the distance between sensors (4) over the remaining length of the probe (1) is about 5 cm.
12. Probe as per one of the claims 1 through 11, characterized by a deformation (e.g. a catch (6) or groove) at the end of the probe (1) near the computer (9).
13. Probe as per one of the claims 1 through 12, characterized by a wire (8) inside the probe (1) that is as distortion-free as possible.
14. Probe as per one of the claims 1 through 13, characterized by the presence of a phantom (14) for the calibration of the probe (1) which predefines, when the probe (1) is placed in the phantom (14), known bends to the probe (1).
15. Probe as per one of the claims 1 through 14, characterized by the fact that the length measurement of the probe (1) in several places can be shown on the monitor (10) of the computer (9).
16. Probe as per one of the claims 1 through 15, characterized by the fact that calculation of the coordinates of the probe (1) is performed with the iterative equation system:

$$x(0) = 0 \quad y(0) = 0 \quad z(0) = 0$$

$$x(l + \Delta l) = x(l) + \frac{dx}{dl} \cdot \Delta l$$

$$y(l + \Delta l) = y(l) + \frac{dy}{dl} \cdot \Delta l$$

$$z(l + \Delta l) = z(l) + \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{dx}{dl}\right)^2 - \left(\frac{dy}{dl}\right)^2}$$

$$\frac{dx}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \sin(\alpha(l) + \varphi(l))$$

$$\frac{dy}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \cos(\alpha(l) + \varphi(l))$$

$$\omega(l) = \sum_{i=0}^n \frac{d}{r \cdot Z} \cdot (\Delta Z_{\xi i}^2 + \Delta Z_{\psi i}^2) \cdot g_i(l)$$

$$\varphi(l) = \sum_{i=0}^n \arctan\left(\frac{\Delta Z_{\xi i}}{\Delta Z_{\psi i}}\right) \cdot g_i(l)$$

$$\alpha(l) = \sum_{j=0}^{n-1} \frac{d}{r} \cdot \left( \frac{\Delta Z_{dj}}{Z_{dj}} - \frac{\Delta Z_{pj}}{Z_{pj}} \right) \cdot g_i(l)$$

17. Probe as per claim 16, characterized by the interpolation equation  $g_i(l)$  having the following property:

$$g(l) = \sum_{i=0}^n g_i(l) \equiv 1$$

18. Probe as per claim 17, characterized by application of a linear interpolation equation  $g_i(l)$ :

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} & L_{i-1} < l < L_i \\ 1 - \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

19. Probe as per claim 17, characterized by application of a  $\cos^2$  interpolation equation  $g_i(l)$ :

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \right) & L_{i-1} < l < L_i \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} \right) & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

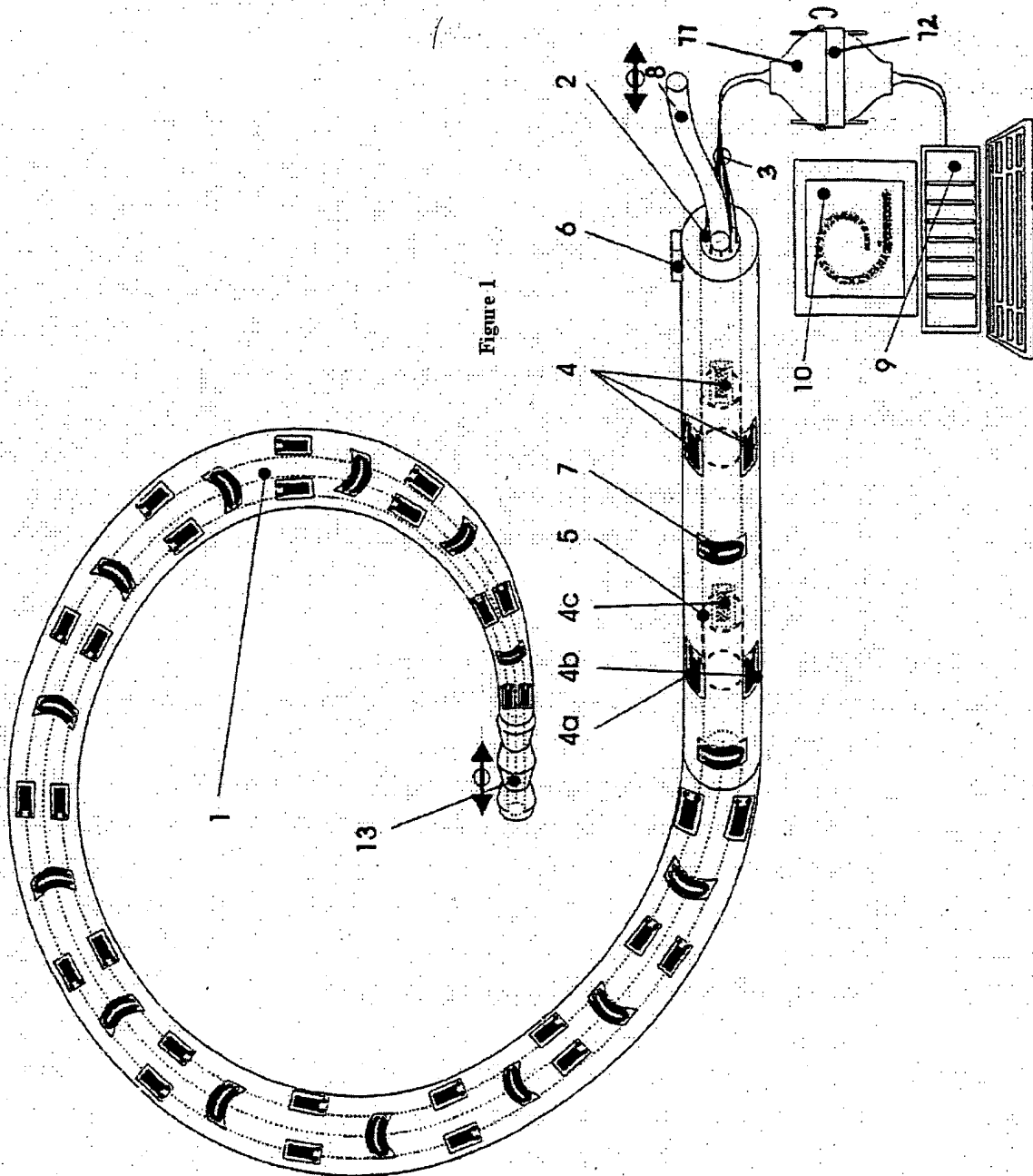
20. Probe as per one of the claims 1 through 19, characterized by the availability for probe (1) of another probe with an interior lumen with a diameter larger than probe (1) (e.g. working canal of an endoscope).

21. Probe as per claim 20, characterized by distortion-free adjustment of probe (1) at its non-computer end in the interior lumen of the outer probe.

22. Probe as per claim 21, characterized by a deformable part (13) at the tip of the probe (1) whose diameter can be increased or decreased by means of a rigid wire (8) located inside the probe (1).

23. Probe as per claim 23, characterized by the deformable part (13) being made of soft rubber which

can be lengthened or shortened by the wire (8).



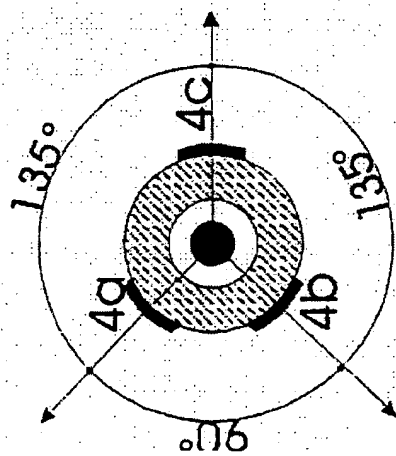
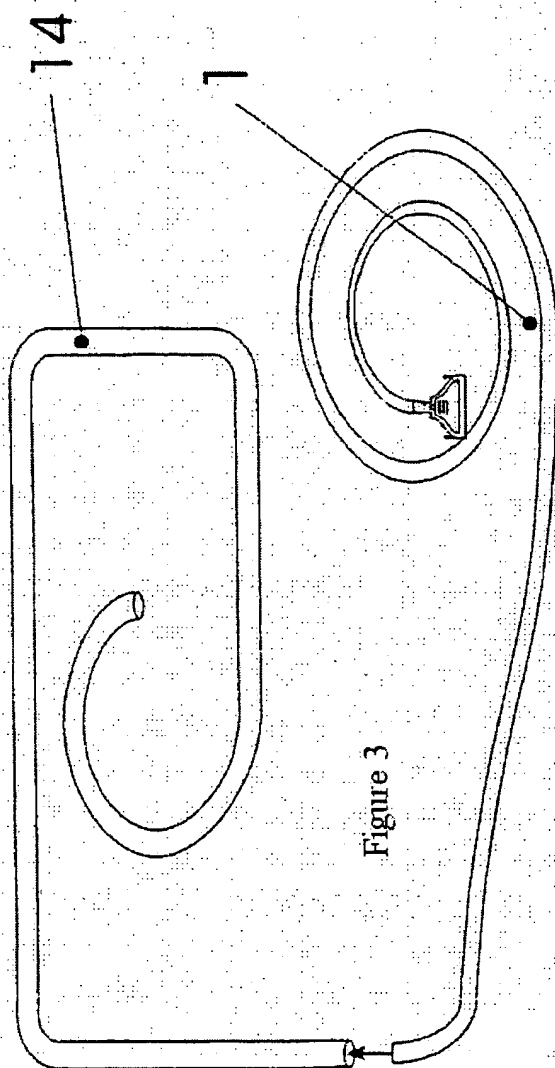


Figure 2

Figure 3

3 / 3

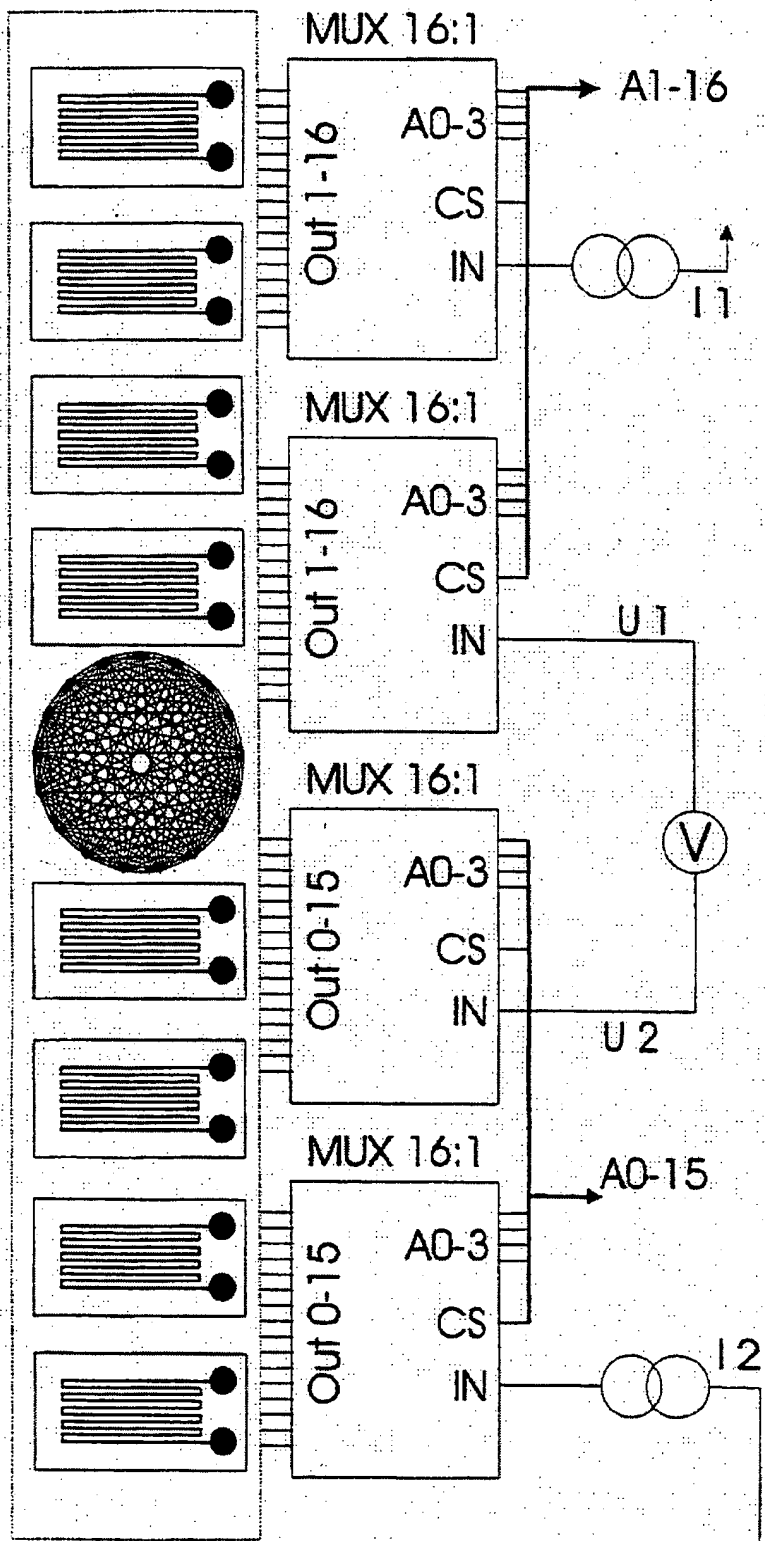


Figure 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/AT 98/00320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 A61B1/31 A61B5/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97 10746 A (UNIVERSITY OF WALES) 27 March 1997	1, 2, 9, 10, 13
A	see page 4, line 19 - page 6, line 15	12
X	US 4 873 990 A (H.K. HOLMES ET AL.) 17 October 1989	1, 4, 9, 10
	see column 3, line 32 - column 4, line 36	
X	US 4 366 810 A (C.A. SLANETZ, JR.) 4 January 1983	1, 2, 4, 9
A	see column 4, line 65 - column 5, line 45 see column 6, line 7 - column 7, line 28	10, 13
	---	
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 March 1999

Date of mailing of the international search report

17/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5518 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 apo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rieb, K.D.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/AT 98/00320

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

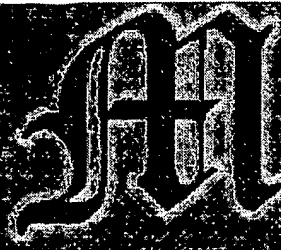
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 060 632 A (H. HIBINO ET AL.) 29 October 1991 see column 8, line 25 - line 66; figure 1 see column 19, line 20 - line 55; figure 11 see column 27, line 7 - line 26; figure 27 see column 50, line 50 - column 51, line 58; figures 67-75 see column 69, line 32 - column 70, line 33; figures 101-103	1,2,4,15
A	EP 0 342 249 A (HEWLETT-PACKARD ) 23 November 1989 see column 4, line 50 - column 5, line 30	4-6
A	US 3 643 653 A (N. TAKAHASHI ET AL.) 22 February 1972 see column 3, line 8 - line 15 see column 3, line 60 - line 68	1,9,20
P,X	US 5 728 044 A (YANSONG SHAN) 17 March 1998	1,2,4,5
P,X	see column 3, line 9 - column 4, line 14  see column 4, line 52 - line 57 see column 5, line 50 - line 62	9-11, 13-15,20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/AT 98/00320

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9710746 A	27-03-1997	AU 6993496 A EP 0862380 A	09-04-1997 09-09-1998
US 4873990 A	17-10-1989	NONE	
US 4366810 A	04-01-1983	US 4469091 A	04-09-1984
US 5060632 A	29-10-1991	JP 3178631 A JP 3272727 A JP 4002317 A JP 4002318 A JP 4002319 A JP 4002320 A JP 4002321 A JP 4002322 A	02-08-1991 04-12-1991 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1991
EP 342249 A	23-11-1989	JP 2019133 A US 4953557 A	23-01-1990 04-09-1990
US 3643653 A	22-02-1972	JP 48031554 B DE 1964603 A	29-09-1973 30-07-1970
US 5728044 A	17-03-1998	NONE	



Morningside | Translations

## TRANSLATOR CERTIFICATION

I, Gunter Strumpf, a translator fluent in the German language, on behalf of Morningside Evaluations and Consulting, do solemnly and sincerely declare that the following is, to the best of my knowledge and belief, a true and correct translation of the document(s) listed below in a form that best reflects the intention and meaning of the original text.

### MORNINGSIDE EVALUATIONS AND CONSULTING

  
Signature of Translator

Date: April 27, 2005

Description of Documents Translated: Deformable Probe with Automatic Detection of the Position of the Probe


  
**PCT**
  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
   
 Internationales Büro
   
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
   
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup>:</b> <b>A61B 1/31, 5/03</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 99/33392</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 8. Juli 1999 (08.07.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/AT98/00320 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 23. Dezember 1998 (23.12.98)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> A 2190/97                      29. Dezember 1997 (29.12.97)    AT  <b>(71)(72) Anmelder und Erfinder:</b> SKRABAL, Falko [AT/AT]; Lindenhofweg 16, A-8043 Graz (AT). FORTIN, Jürgen [AT/AT]; Jahngasse 5, A-8010 Graz (AT).  <b>(74) Anwalt:</b> BABELUK, Michael; Babeluk-Krause, Mariahilfer Gürtel 39/17, A-1150 Wien (AT).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

**(54) Title:** DEFORMABLE PROBE WITH AUTOMATIC DETECTION OF THE POSITION OF THE PROBE

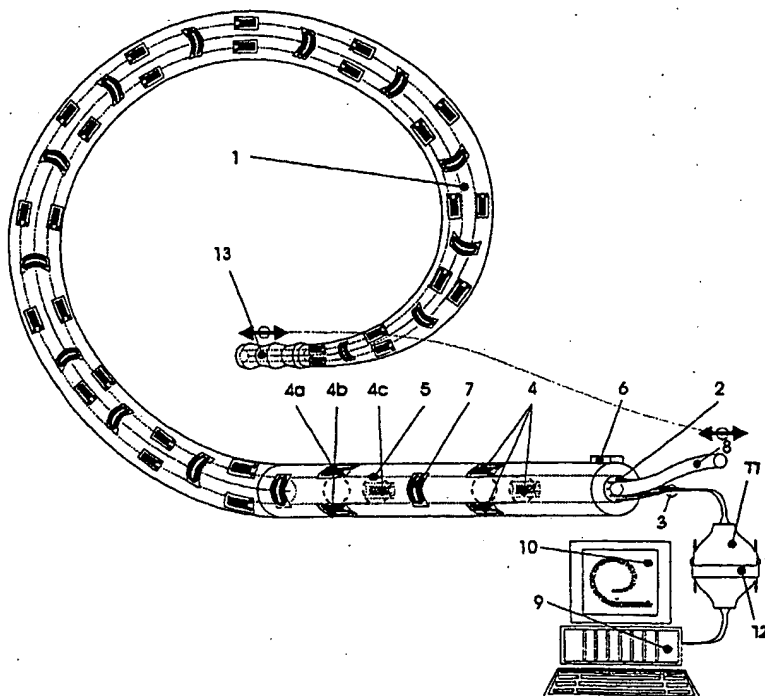
**(54) Bezeichnung:** VERFORMBARE SONDE MIT AUTOMATISCHER DETEKTION DER SONDENLAGE

**(57) Abstract**

The invention relates to a deformable probe (1) which can be placed in cavities or mediums which cannot be observed. The probe comprises a plurality of deformation and distortion sensors (4, 7) which are distributed along the length of the probe (1). The supply lines (3) are preferably guided outward in a multiplex circuit and are connected to a computer (9). A differential iterative computing method is used for calculating the deformation and position of the probe, and the position of the probe is displayed on a screen (10).

**(57) Zusammenfassung**

Eine verformbare Sonde (1), die in Hohlräumen bzw. nicht einsehbaren Medien platziert werden kann, weist über die Länge der Sonde (1) verteilt mehrere Verformungs- und Verwindungssensoren (4, 7) auf. Die Zuleitungen (3) sind bevorzugt in Multiplexschaltung nach aussen geführt und mit einem Rechner (9) verbunden. Für die Berechnung der Verformung und Lage der Sonde wird ein differenzielles iteratives Rechenverfahren verwendet und die Lage der Sonde auf einem Bildschirm (10) angezeigt.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

### Verformbare Sonde mit automatischer Detektion der Sondenlage

In der Technik bzw. in der Medizin besteht häufig die Notwendigkeit in nicht einsehbaren Hohlräumen, die in ihrer Lage bzw. Verkümmung unbekannt sind, oder in nicht einsehbaren Medien von außen die Form und Position des Hohlraumes bzw. von dort lokalisierten verformbaren Sonden zu erkennen.

Speziell in der Endoskopie (Colonoskopie), besteht häufig die Notwendigkeit, die Lage des Endoskopes im Körper zu kontrollieren, um so Schlingen oder Schleifen des Endoskopes zu erkennen, die einen weiteren Vorschub erschweren. Derzeit wird dafür ein teures Röntgengerät verwendet, das den meisten Ärzten, die diese Untersuchung durchführen, nicht zur Verfügung steht. Deswegen muß häufig diese Untersuchung abgebrochen werden, bzw. ist der Untersuchungsvorgang äußerst erschwert und für den Patienten schmerzhaft.

Gegenwärtig gibt es kein System, das die geschilderten Nachteile aufhebt und die Lage des Endoskopes in einer einfachen Weise dem Untersuchenden bekannt gibt. In der FR 2 732 225 A1 (MAZARS) wird eine Sonde beschrieben, die sich selbständig in den Hohlkörper einführt. Dazu ist diese Sonde mit Bimetallamellen bzw. mit Piezoelementen ausgestattet und in einzelne Segmente unterteilt, die sich selbständig gegeneinander verformen und zwar so, wie das vorderste Segment es den nachfolgenden Segmenten vorgegeben hat. Dies ist deswegen gefährlich und nicht durchführbar, weil es voraussetzen würde, daß der untersuchte Hohlraum während der gesamten Untersuchungsdauer keine natürliche Verformung mitmacht. Gerade im Falles des Darms trifft dies nicht zu, da der Darm mit Muskelzellen ausgestattet ist und durch die Peristaltik eine natürliche Bewegung aufweist. Diese ist mit der beschriebenen Vorrichtung nicht zu erfassen.

In der WO 95/04556 (ACTIVE CONTROL) wird ein Herz-Katheder beschrieben, dessen Verformung am Röntgenschirm beobachtet wird, wobei durch piezoelektrische Elemente schwierige Krümmungen erzeugt werden können, die mit den herkömmlichen Seilzügen nicht zu Bewerkstelligen sind.

In der EP 0 077 526 A2 (OLYMPUS) ist eine Servoeinrichtung für die Bedienung eines Endoskopes beschrieben, wobei die manuelle Drehung der Bedienungshebel durch Dehnung eines piezoelektrischen Gummis detektiert wird, wodurch die Servoeinrichtung gesteuert wird. Eine Detektion der Sondenlage ist mit dieser Vorrichtung jedoch nicht durchführbar.

In der US 4 899 731 A (TAKAYAMA) wird die Biegung des Steuerkopfes eines Endoskopes durch eine Legierung bewirkt, die durch Erwärmung einen definierten Winkel erreicht. Dadurch kann man sich zwar die Seilzüge für das Endoskop ersparen, die Verformung der Sonde kann allerdings nicht erfaßt werden.

In der US 4 930 494 A (TAKEHANA) wird in ähnlicher Weise der Winkel des Insertionsteiles eines Endoskopes verändert, wobei die Erwärmung durch Heizspulen erreicht wird. Auch hier ist eine Detektion der Sondenlage nicht möglich.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die dargestellten Nachteile zu vermeiden und eine Sonde zu schaffen, die die Position eines Hohlraumes bzw. einer Sonde (z.B. eines Endoskopes), die in diesen Hohlraum eingeführt ist, mit allfälligen Schleifen- und Schlingenbildungen von außen erkennen läßt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß über die Länge der Sonde mehrere Verformungssensoren angebracht sind, wobei diese Sensoren entweder über elektrische Leitungen oder über Funk ihre Signale an einen Rechner übermitteln, der aus den Signalen der einzelnen Sensoren die exakte Verformung und Lage der Sonde errechnet. Diese Verformungssensoren können entweder über elektrische Leitungen bzw. auch drahtlos die Verkrümmung der Sonde an die untersuchende Person weitergeben, wobei sich vorzugsweise ein Bildschirm anbietet, auf dem die Lage der Sonde mit allen seinen Windungen und Schleifen angezeigt ist.

Vorzugsweise werden als Sensoren entweder Dehnungsmeßstreifen bzw. piezoelektrische Elemente verwendet, die über die Sondenlänge verteilt, an der Sonde angebracht sind. Diese Dehnungsmeßstreifen bzw. piezoelektrischen Elemente sind über Drähte mit einem Rechner außerhalb des Körpers verbunden. Dieser Rechner kann bevorzugt graphisch auf dem Bildschirm die exakte Position und Verkrümmung der Sonde darstellen. Die Anzahl der notwendigen Sensoren ergibt sich aus dem minimalen Krümmungsradius d.h. aus der Steifheit des Gerätes. Je kleiner der Krümmungsradius und um so flexibler das Gerät, desto mehr Sensoren sind über den Verlauf notwendig.

Für ein übliches Colonoskop mit einem Krümmungsdurchmesser von 5 cm im vorderen, 20cm langen Teil und von 12 cm im restlichen Teil, ergibt sich bei einer Gerätelänge von ca. 1,3 Meter eine Anzahl von 25 bis 150 Sensoren, die alle Verformungen des Gerätes genau ausrechnen lassen.

Bevorzugterweise wird für fertige Sonden, bzw. herkömmliche Untersuchungsgeräte, an denen keine Sensoren mehr angebracht werden können, in einen allfälligen Hohlraum der Sonde (z.B. Arbeitskanal eines Endoskopes) eine biegsame Sonde eingeführt, die während des gesamten Untersuchungsvorganges im Gerät bleiben kann. Der äußere Durchmesser dieser Sonde ist durch den

Durchmesser des Hohlraumes der äußeren Sonde gegeben und beträgt z.B. im Normalfall für das Endoskop 3 mm.

Die Herstellung dieser Sonde erfolgt bevorzugt so, daß die piezoelektrischen Elemente bzw. die Dehnungsmeßstreifen mit den elektrischen Verbindungen fertiggestellt werden und anschließend in einem Vulkanisierungs-, Schrumpfungs- oder Besprühungsverfahren eine dünne Kunststoff- oder Gummihaut über den Sensoren plziert wird. So ist dann eine glatte Oberfläche des Gerätes zu erzielen. Um möglichst wenig elektrische Leitungen nach außen führen zu müssen, eignet sich auch eine Multiplexschaltung, mit der die Sensoren untereinander verknüpft sind, und wie sie aus der Literatur gut bekannt ist. Dadurch können bis  $x \cdot (x-1)/2$  Sensoren von  $x$  elektrischen Leitungen (z.B. 28 Sensoren von 8 Leitungen) versorgt werden.

Die Signale von den Sensoren ( Dehnungsmeßstreifen bzw. piezoelektrische Elemente ) müssen die Krümmung der Sonde im dreidimensionalen Raum angeben, wobei jeweils 2 Sensoren um ca. 90 Grad an der Zirkumferenz des Gerätes versetzt ausreichen, um eine dreidimensionale Verformung errechnen zu können. Alternativ eignen sich auch Sensoren, die eine Verformung in mehr als einer Ebene aufnehmen können. In diesem Fall müßte nur jeweils ein Sensor auf der jeweiligen Länge der Sonde verteilt, angebracht werden.

Aus dem Input aller Sensoren bzw. aus dem Krümmungsdurchmesser des Gerätes ergibt sich dann - auch trotz Platzierung von nur wenigen Sensoren auf die Sondenlänge verteilt - ein genaues dreidimensionales Bild der Lage der Sonde im Hohlraum oder im nicht einsichtigen Medium.

Für den Rechenvorgang ist es günstig, in bekannter Weise die Analogsignale der einzelnen Sensoren über AD-Wandler an den Rechner zu übertragen.

Zur genauen Bestimmung der Position der Sonde aus den gewonnenen Krümmungsradien bietet sich z.B. folgende Formel zur Berechnung an, wobei man vorteilweise den Ursprung der graphischen und rechnerischen Darstellung bei der Einführstelle annimmt.

Krümmung  $\omega$  und Krümmungsrichtung  $\varphi$  am Ort  $i$  der Verformungssensoren:

$$\omega_i = \frac{d}{r \cdot Z} \cdot \left( \Delta Z_{\xi i}^2 + \Delta Z_{\psi i}^2 \right)$$

$$\varphi_i = \arctan \left( \frac{\Delta Z_{\xi i}}{\Delta Z_{\psi i}} \right)$$

$\omega_i$	... Krümmung an der Stelle $L_i$
$\varphi$	... Krümmungsrichtung an der Stelle $L_i$
$d$	... aktive Länge des Dehnungsmeßstreifens
$r$	... Radius der Sonde
$\Delta Z_{\xi i}$	... Widerstandsänderung im Sensor $i$ Richtung $\xi$
$\Delta Z_{\psi i}$	... Widerstandsänderung im Sensor $i$ Richtung $\psi$
$Z$	... Basiswiderstand

Verwindung  $\alpha$  am Ort  $j$  der Verwindungssensoren:

$$\alpha_i = \frac{d}{r} \cdot \left( \frac{\Delta Z_{dj}}{Z_{dj}} - \frac{\Delta Z_{pj}}{Z_{pj}} \right)$$

$\alpha_i$  ... Verwindungswinkel an der Stelle  $L_j$   
 $Z_d$  ... distaler Widerstandswert  
 $Z_p$  ... proximaler Widerstandswert

Interpolierte Krümmung  $\omega(l)$  bzw. Verwindung  $\alpha(l)$  entlang der Sondenlänge  $l$ :

$$\omega(l) = \sum_{i=0}^n \omega_i \cdot g_i(l) \quad \alpha(l) = \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_j \cdot g_j(l)$$

$g_i(l)$  ... Interpolationsfunktion  
 $n$  ... Anzahl der Verformungssensoren

lineare und  $\cos^2$  Interpolationsfunktion:

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} & L_{i-1} < l < L_i \\ 1 - \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

Lineare Interpolation

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \right) & L_{i-1} < l < L_i \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} \right) & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

$\cos^2$  - Interpolation

Generell muß die Interpolationsgleichung  $g_i(l)$  folgende Eigenschaft aufweisen:

$$g(l) = \sum_{i=0}^n g_i(l) \equiv 1$$

differenzielle Verkrümmung bezüglich des Ursprungs:

$$\frac{dx}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \sin(\alpha(l) + \varphi(l)) \quad \frac{dy}{dl} = \frac{\omega(l)}{d} \cdot \cos(\alpha(l) + \varphi(l))$$

Iterative Berechnung der Sondenkoordinaten für jeden Abschnitt  $\Delta l$ :

$$x(0) = 0 \quad y(0) = 0 \quad z(0) = 0$$

$$x(l + \Delta l) = x(l) + \frac{dx}{dl} \cdot \Delta l$$

$$y(l + \Delta l) = y(l) + \frac{dy}{dl} \cdot \Delta l$$

$$z(l + \Delta l) = z(l) + \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{dx}{dl} \right)^2 - \left( \frac{dy}{dl} \right)^2}$$

Es ist offensichtlich, daß die beschriebene Vorrichtung auch auf andere Applikationen in der Medizin, aber auch auf technische Bereiche übertragen werden kann und der Schutz auch auf diese anderen Applikationen auszudehnen ist.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 eine erfindungsgemäße Sonde, Fig. 2 einen Schnitt der Sonde im Bereich der Verformungssensoren, Fig. 3 ein Phantom zur Kalibrierung der Sonde sowie Fig. 4 ein Schaltbild (Multiplexschaltung) für die Meßwernerfassung.

In Fig. 1 ist eine Sonde 1 dargestellt, die in ihrem inneren Lumen 2 die elektrischen Zuleitungen 3 der Verformungssensoren 4 enthält. Da die Verformung der Sonde 1 sehr stark sein kann, jedoch die Verformungssensoren 4 nur gering dehnbar sind, kann es vorteilhaft sein, daß die Verformungssensoren 4 auf ein steifes Medium aufgebracht werden, das im wesentlichen eine ähnliche Verformbarkeit aufweist wie die Sensoren selbst. In der Fig. 1 wird als steifes Medium beispielsweise ein kurzer Kunststoffhohlkörper 5 verwendet, der von der äußeren Sonde 1 die Verformung mitgeteilt bekommt. Dieser Kunststoffhohlkörper 5 muß dementsprechend kurz gehalten sein um die Verformbarkeit der ganzen Sonde nicht zu gefährden. Damit gewährleistet ist, daß die Lage der Sonde 1 im Verhältnis zur Lage des eingeführten Gerätes - im gegenständlichen Fall die Lage des Colonoskopes (nicht dargestellt) - konstant ist, wird vorgeschlagen, eine Asymmetrie (z.B. Nase 6 bzw. Nut) an der Sonde anzubringen.

Um auch eine allfällige Längsverwindung der Sonde 1 erfassen zu können, könnte es vorteilhaft sein, zusätzliche diagonal zur Achse mit Abweichungen in beiden entgegengesetzten Richtungen angebrachte Dehnungsmeßstreifen als Verwindungssensoren 7 an der Sonde anzubringen. Bei den gegebenen geringen Außendurchmesser im Verhältnis zur Länge der Sonde wird eine Verwindung nicht ganz auszuschließen sein, obwohl man darauf Wert legen wird, durch Verwendung von verwindungsfreien bzw. verwindungsarmen Materialien ein Verwinden zu verhindern. So könnte es sich als günstig erweisen, in der Mitte der Sonde 1 ein verwindungssteifes Material z.B. einen Metalldraht 8 einzubringen, der Verwindungen verhindert aber die Krümmung erlaubt.

Die Zuleitungen 3 sind mit einem Rechner 9 verbunden, der aus den Signalen der auf der Länge der Sonde 1 verteilten Verformungssensoren 4 die Verformung errechnet und auf dem Bildschirm 10 günstigerweise dreidimensional darstellt.

Damit die Sonde 1 in üblicher Weise nach der Verwendung gereinigt, bzw. gewaschen werden kann, ist vorgesehen, beispielsweise die elektrischen Zuleitungen 3 zum Rechner 9 in einem Stecker 11 enden zu lassen, der bei Bedarf mit einer dichten Abdeckung 12 verschlossen werden kann bzw. automatisch bei Abziehen vom Rechner 9 verschlossen wird.

Damit der Untersucher weiß, welcher Teil der Sonde 1 bereits im lebenden Körper eingeführt ist, sollte vorzugsweise nur der eingeführte Teil der Sonde 1 am Bildschirm 10 dargestellt werden. Da-

zu könnte z.B. der Untersucher nur die Länge des Teils der eingeführten Sonde 1 in den Rechner eingeben. Zusätzlich könnte eventuell an der Öffnung des Hohlkörpers ein Distanzabnehmer (nicht dargestellt) angebracht sein, der die Länge der eingeführten Sonde 1 registriert. Dabei könnte es sich z.B. um einen mechanischen oder elektronischen Bewegungssensor handeln. Zusätzlich könnte es sich bewähren, die Teilstrecken der Sonde 1 am Bildschirm 10 in äquidistanten Abständen mit cm-Angabe darzustellen.

In Fig. 1 ist weiters eine Ausführung der Sondenspitze gezeigt, die im Hohlraum einer weiteren Sonde verwindungsfrei gegenüber dem der rechnerzugewandten Seite der Sonde 1 fixiert werden kann. Dazu ist der in Fig. 1 dargestellte Draht 8 an der Spitze der Sonde mit einem weichen verformbaren Material 13 (z.B. Weichgummi) verbunden, wobei der Draht 8 bei Vorschieben dieses verformbare Material streckt und damit den Durchmesser verringert und bei Zurückziehen das verformbare Material verkürzt, so daß die Sondenspitze in der gewünschten Position im Hohlraum der äußeren Sonde (nicht gezeigt) fixiert werden kann.

Wie in Fig. 1 und 2 dargestellt, sind zwei Verformungssensoren 4a und 4b, im dargestellten Beispiel Dehnungsmeßstreifen 4a und 4b, um ca.  $90^\circ$  versetzt an die Zirkumferenz des Hohlkörpers 5 angebracht, um die Verformung der Sonde 1 im dreidimensionalen Raum erfassen zu können. Hier kann es sich als günstig erweisen, einen dritten Verformungssensor 4c um ca.  $135^\circ$  versetzt von den beiden anderen Verformungssensoren 4a und 4b anzubringen um Meßwertschwankungen auszugleichen.

Wie in Fig. 3 dargestellt, kann es sich als günstig erweisen, die Sonde 1 mit Hilfe eines Phantoms 14, in das die Sonde eingeführt wird und das der Sonde konstante und bekannte Krümmungen vorgibt, zu kalibrieren. Diese Kalibrierung kann einmalig erfolgen (Eichung) bzw. vor einer Verwendung erfolgen. Zur Berechnung der Krümmung aus den Signalen der Sensoren kann es sich als günstig erweisen, moderne mathematische Verfahren wie z.B. neuronale Netze, Fuzzy Logic oder differenzielle Geometrie zu verwenden.

In Fig. 4 ist das Schaltbild für die Meßwerterfassung dargestellt. Es handelt sich beispielsweise um eine analoge Multiplexschaltung. Der Widerstand der Dehnungsmeßstreifen 4a, 4b, 4c wird vorteilswise mit der 4-Drahtmeßmethode bestimmt. Bei einem Einsatz in lebenden Körpern wird der Meßstrom gemäß den medizintechnischen Vorschriften (z.B. EN 60-601-1) gering gehalten, z.B. in der Größenordnung von  $400\mu\text{A}$ . Ebenso ist der Meßstrom bei einer medizinischen Anwendung vorteilswise als Wechselstrom gehalten, wobei die Frequenz ca. 40 kHz betragen kann.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verformbare Sonde ( z. B. ein Endoskop ), dadurch gekennzeichnet, daß über die Länge der Sonde (1) mehrere Verformungssensoren (4) angebracht sind, wobei diese Sensoren entweder über elektrische Leitungen (3) oder über Funk ihre Signale an einen Rechner (9) übermitteln, der aus den Signalen der einzelnen Sensoren (4) die exakte Verformung und Lage der Sonde (1) errechnet.
2. Sonde nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Sensoren (4) um Dehnungsmeßstreifen (4a, 4b, 4c) handelt, wobei jeweils zwei Dehnungsmeßstreifen (4a, 4b) um ca. 90 Grad versetzt an der Zirkumferenz der Sonde (1) angebracht sind.
3. Sonde nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein dritter Dehnungsmeßstreifen (4c) am größeren Kreissektor zwischen den beiden Dehnungsmeßstreifen (4a, 4b) angebracht ist.
4. Sonde nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Sensoren (4) um piezoelektrische Elemente handelt, die die Verkrümmung der Sonde (1) über elektrische Leitungen (3) an das äußere Ende der Sonde (1) und an einen dort befindlichen Rechner (9) weiterleiten.
5. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Leitungen (3) in Multiplexschaltung ausgeführt sind.
6. Sonde nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Multiplexschaltung um eine Mischung aus Raum- und Zeitmultiplex handelt.
7. Sonde nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für x elektrische Leitungen (3), die in die Sonde (1) hineinführen,  $x \cdot (x-1)/2$  Sensoren (4) angesteuert werden können.
8. Sonde nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei frequenzdefinierten Sensoren (4) die Multiplexschaltung als Frequenzmultiplex ausgeführt ist.
9. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß über den Sensoren (4) und elektrischen Leitungen (3) eine biegsame Membran, z. B. aus Kunststoff oder Gummi angebracht ist, die eine glatte Oberfläche aufweist.

10. Sonde nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die biegsame Membran, die die Sensoren (4) und die elektrischen Leitungen (3) umgibt, aufgeschumpft, aufgesprüht oder aufvulkanisiert wird.
11. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde (1) zumindest 130cm lang ist, einen Durchmesser von max. 3mm aufweist, an der Spitze der Sonde (1) über eine Länge von ca. 20cm die Sensoren (4) im Abstand von ca. 2 cm angebracht sind und auf der restlichen Länge der Sonde (1) der Abstand zwischen den Sensoren (4) ca. 5 cm beträgt.
12. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß am dem Rechner (9) zugewandten Ende der Sonde (1) eine Verformung (z.B. Nase (6) oder Nut) angebracht ist.
13. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Sonde (1) ein möglichst verwindungssteifer Draht (8) angebracht ist.
14. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein Phantom (14) für die Eichung/Kalibrierung der Sonde (1) vorhanden ist, das, bei Platzierung der Sonde (1) im Phantom (14), bekannte Krümmungen der Sonde (1) vorgibt.
15. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß am Bildschirm (10) des Rechners (9) die Längenangabe der Sonde (1) an mehreren Stellen angezeigbar ist.
16. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung der Koordinaten der Sonde (1) nach dem iterativen Gleichungssystem erfolgt:

$$\begin{aligned}
 x(0) &= 0 & y(0) &= 0 & z(0) &= 0 \\
 x(l + \Delta l) &= x(l) + \frac{dx}{dl} \cdot \Delta l \\
 y(l + \Delta l) &= y(l) + \frac{dy}{dl} \cdot \Delta l \\
 z(l + \Delta l) &= z(l) + \Delta l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{dx}{dl}\right)^2 - \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} \\
 \frac{dx}{dl} &= \frac{\omega(l)}{d} \cdot \sin(\alpha(l) + \varphi(l)) \\
 \frac{dy}{dl} &= \frac{\omega(l)}{d} \cdot \cos(\alpha(l) + \varphi(l)) \\
 \omega(l) &= \sum_{i=0}^n \frac{d}{r \cdot Z} \cdot (\Delta Z_{\xi_i}^2 + \Delta Z_{\psi_i}^2) \cdot g_i(l) \\
 \varphi(l) &= \sum_{i=0}^n \arctan\left(\frac{\Delta Z_{\xi_i}}{\Delta Z_{\psi_i}}\right) \cdot g_i(l) \\
 \alpha(l) &= \sum_{j=0}^{n-1} \frac{d}{r} \cdot \left( \frac{\Delta Z_{dj}}{Z_{dj}} - \frac{\Delta Z_{pj}}{Z_{pj}} \right) \cdot g_i(l)
 \end{aligned}$$

17. Sonde nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Interpolationsgleichung  $g_i(l)$  folgende Eigenschaft aufweist:

$$g(l) = \sum_{i=0}^n g_i(l) \equiv 1$$

18. Sonde nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine lineare Interpolationsgleichung  $g_i(l)$  verwendet wird:

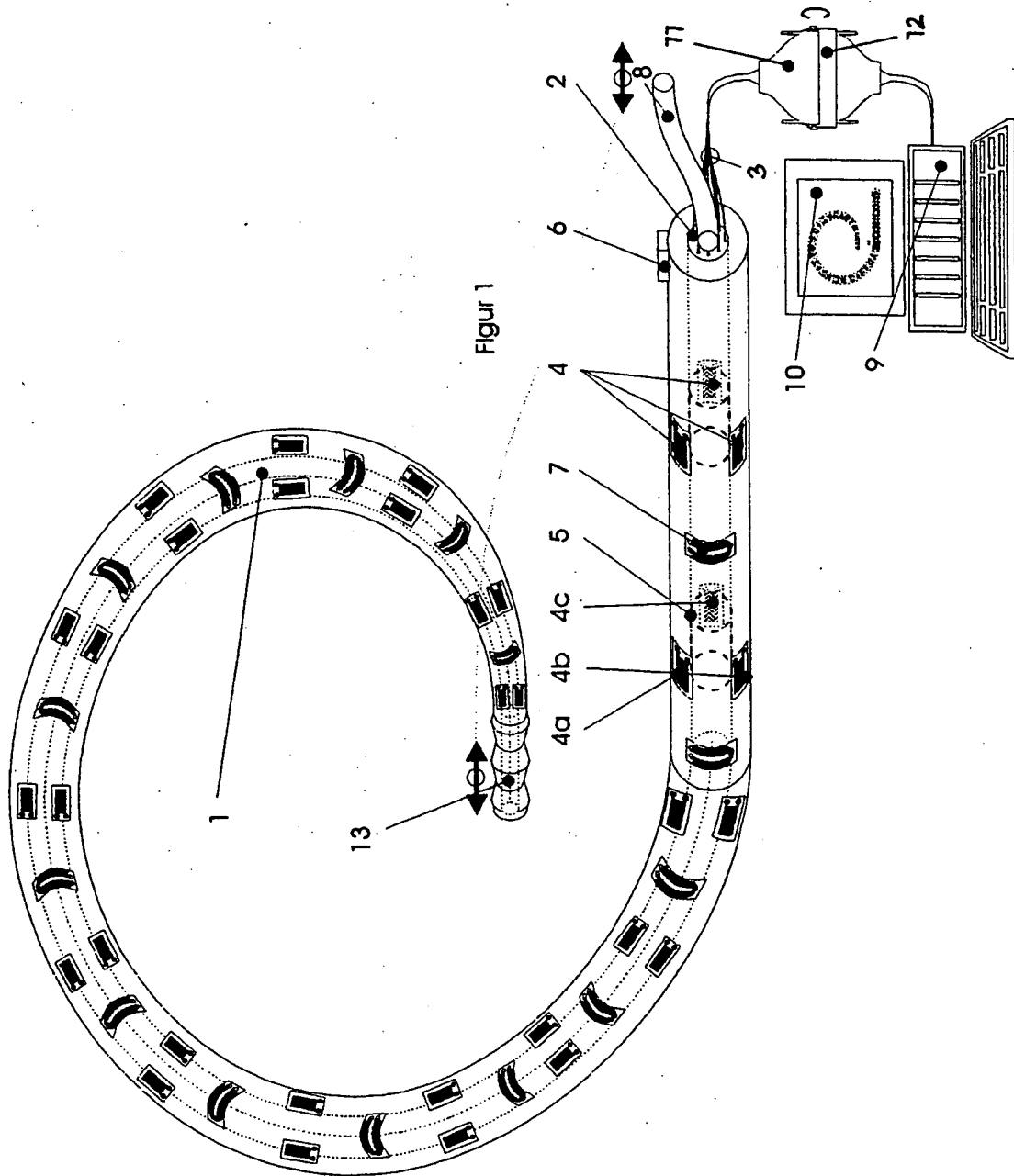
$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} & L_{i-1} < l < L_i \\ 1 - \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

19. Sonde nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine  $\cos^2$  Interpolationsgleichung  $g_i(l)$  verwendet wird:

$$g_i(l) = \begin{cases} 0 & l < L_{i-1} \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \right) & L_{i-1} < l < L_i \\ \cos^2 \left( \frac{l - L_i}{L_{i+1} - L_i} \right) & L_i < l < L_{i+1} \\ 0 & l > L_{i+1} \end{cases}$$

20. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß für die Sonde (1) eine weitere Sonde mit einem inneren Lumen, das in seinem Durchmesser größer ist als die Sonde (1) (z.B. Arbeitskanal eines Endoskop) zur Verfügung steht.
21. Sonde nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde (1) an der rechnerabgewandten Seite im inneren Lumen der äußeren Sonde verwindungsfrei justiert ist.
22. Sonde nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde (1) an der Spitze aus einem verformbaren Teil (13) besteht, der durch einen im Inneren der Sonde (1) liegenden steifen Draht (8) im Durchmesser vergrößert oder verkleinert werden kann.

23. Sonde nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der verformbare Teil (13) aus einem Weichgummi besteht, der durch den Draht (8) verlängert oder verkürzt werden kann.



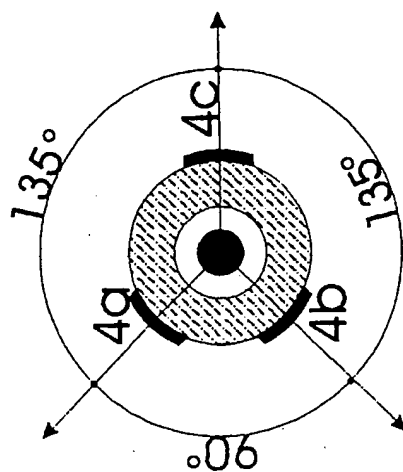
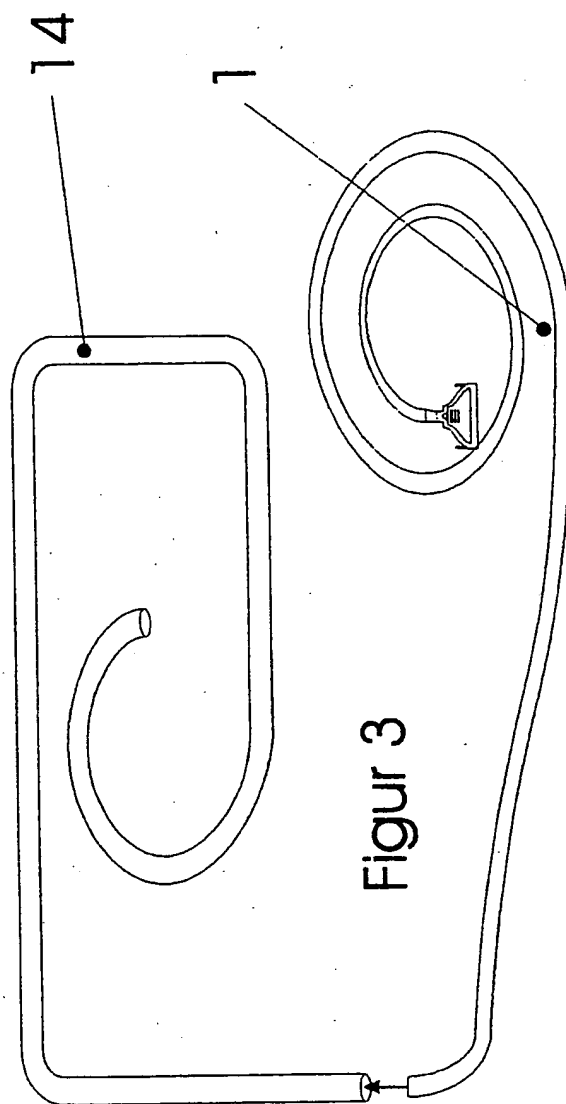
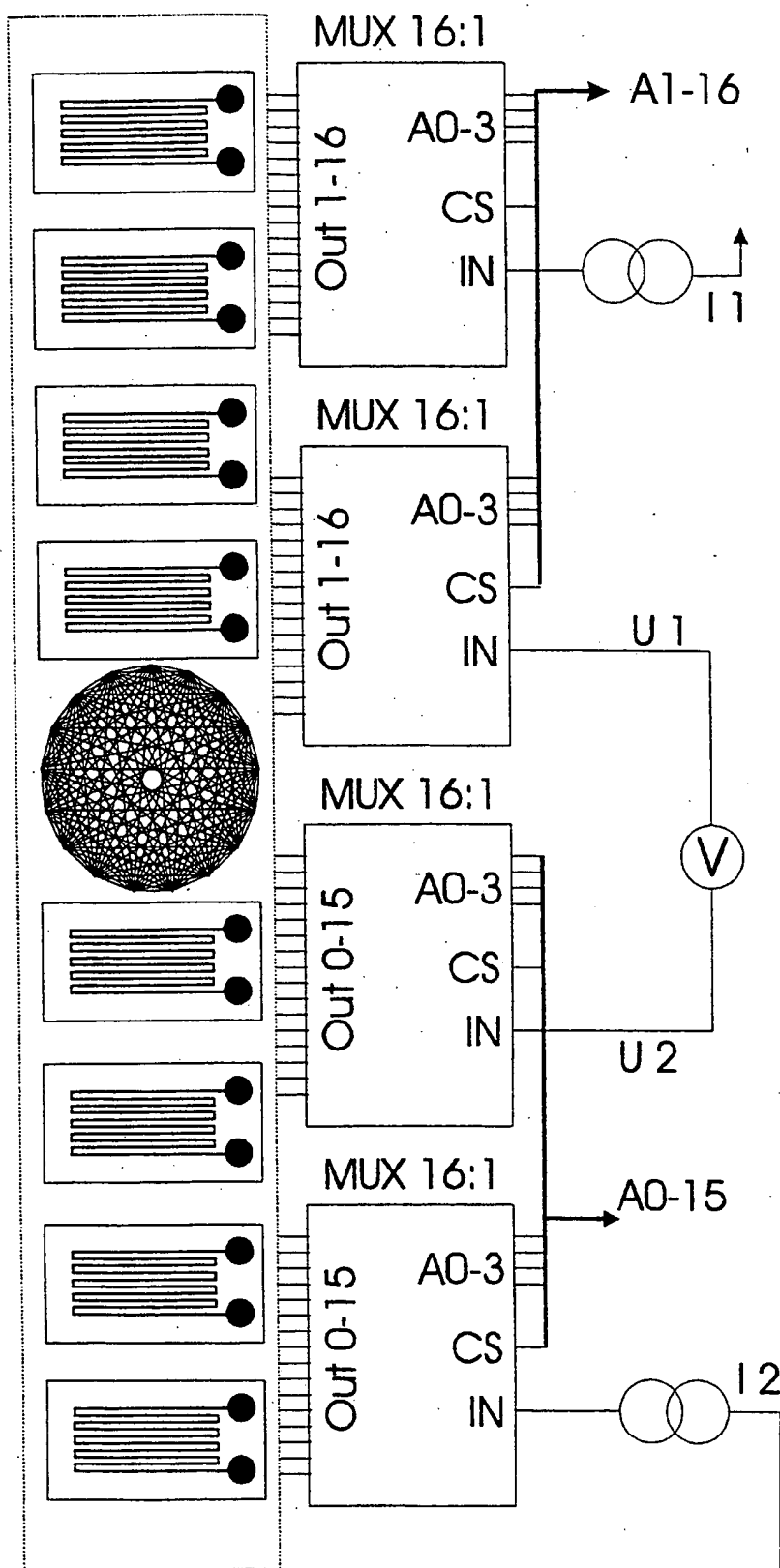


Figure 2

Figure 3



Figur 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/AT 98/00320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 A61B1/31 A61B5/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 97 10746 A (UNIVERSITY OF WALES) 27 March 1997 see page 4, line 19 - page 6, line 15 ---	1,2,9, 10,13 12
X	US 4 873 990 A (H.K. HOLMES ET AL.) 17 October 1989 see column 3, line 32 - column 4, line 36 ---	1,4,9,10
X A	US 4 366 810 A (C.A. SLANETZ, JR.) 4 January 1983 see column 4, line 65 - column 5, line 45 see column 6, line 7 - column 7, line 28 ---	1,2,4,9 10,13
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 March 1999

Date of mailing of the international search report

17/03/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rieb, K.D.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/AT 98/00320

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 060 632 A (H. HIBINO ET AL.) 29 October 1991 see column 8, line 25 - line 66; figure 1 see column 19, line 20 - line 55; figure 11 see column 27, line 7 - line 26; figure 27 see column 50, line 50 - column 51, line 58; figures 67-75 see column 69, line 32 - column 70, line 33; figures 101-103 ----	1,2,4,15
A	EP 0 342 249 A (HEWLETT-PACKARD) 23 November 1989 see column 4, line 50 - column 5, line 30 ----	4-6
A	US 3 643 653 A (N. TAKAHASHI ET AL.) 22 February 1972 see column 3, line 8 - line 15 see column 3, line 60 - line 68 ----	1,9,20
P,X	US 5 728 044 A (YANSONG SHAN) 17 March 1998	1,2,4,5
P,X	see column 3, line 9 - column 4, line 14  see column 4, line 52 - line 57 see column 5, line 50 - line 62 -----	9-11, 13-15,20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/AT 98/00320

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9710746 A	27-03-1997	AU 6993496 A EP 0862380 A	09-04-1997 09-09-1998
US 4873990 A	17-10-1989	NONE	
US 4366810 A	04-01-1983	US 4469091 A	04-09-1984
US 5060632 A	29-10-1991	JP 3178631 A JP 3272727 A JP 4002317 A JP 4002318 A JP 4002319 A JP 4002320 A JP 4002321 A JP 4002322 A	02-08-1991 04-12-1991 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1991
EP 342249 A	23-11-1989	JP 2019133 A US 4953557 A	23-01-1990 04-09-1990
US 3643653 A	22-02-1972	JP 48031554 B DE 1964603 A	29-09-1973 30-07-1970
US 5728044 A	17-03-1998	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT 98/00320

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 A61B1/31 A61B5/03

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 A61B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	WO 97 10746 A (UNIVERSITY OF WALES) 27. März 1997 siehe Seite 4, Zeile 19 - Seite 6, Zeile 15 ---	1, 2, 9, 10, 13 12
X	US 4 873 990 A (H.K. HOLMES ET AL.) 17. Oktober 1989 siehe Spalte 3, Zeile 32 - Spalte 4, Zeile 36 ---	1, 4, 9, 10
X A	US 4 366 810 A (C.A. SLANETZ, JR.) 4. Januar 1983 siehe Spalte 4, Zeile 65 - Spalte 5, Zeile 45 siehe Spalte 6, Zeile 7 - Spalte 7, Zeile 28 --- -/--	1, 2, 4, 9 10, 13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. März 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/03/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Rieb, K.D.

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int ionales Aktenzeichen

PCT/AT 98/00320

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 060 632 A (H. HIBINO ET AL.) 29. Oktober 1991 siehe Spalte 8, Zeile 25 - Zeile 66; Abbildung 1 siehe Spalte 19, Zeile 20 - Zeile 55; Abbildung 11 siehe Spalte 27, Zeile 7 - Zeile 26; Abbildung 27 siehe Spalte 50, Zeile 50 - Spalte 51, Zeile 58; Abbildungen 67-75 siehe Spalte 69, Zeile 32 - Spalte 70, Zeile 33; Abbildungen 101-103 -----	1,2,4,15
A	EP 0 342 249 A (HEWLETT-PACKARD ) 23. November 1989 siehe Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 30 -----	4-6
A	US 3 643 653 A (N. TAKAHASHI ET AL.) 22. Februar 1972 siehe Spalte 3, Zeile 8 - Zeile 15 siehe Spalte 3, Zeile 60 - Zeile 68 -----	1,9,20
P,X	US 5 728 044 A (YANSONG SHAN) 17. März 1998	1,2,4,5
P,X	siehe Spalte 3, Zeile 9 - Spalte 4, Zeile 14 siehe Spalte 4, Zeile 52 - Zeile 57 siehe Spalte 5, Zeile 50 - Zeile 62 -----	9-11, 13-15,20

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT 98/00320

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9710746 A	27-03-1997	AU 6993496 A EP 0862380 A	09-04-1997 09-09-1998
US 4873990 A	17-10-1989	KEINE	
US 4366810 A	04-01-1983	US 4469091 A	04-09-1984
US 5060632 A	29-10-1991	JP 3178631 A JP 3272727 A JP 4002317 A JP 4002318 A JP 4002319 A JP 4002320 A JP 4002321 A JP 4002322 A	02-08-1991 04-12-1991 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1992 07-01-1991
EP 342249 A	23-11-1989	JP 2019133 A US 4953557 A	23-01-1990 04-09-1990
US 3643653 A	22-02-1972	JP 48031554 B DE 1964603 A	29-09-1973 30-07-1970
US 5728044 A	17-03-1998	KEINE	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**